

TENDENCIAS RECIENTES OBSERVADAS EN LA EVAPORACIÓN EN ESPAÑA Y SU POSIBLE RELACIÓN CON LAS VARIACIONES DE LA RADIACIÓN SOLAR EN SUPERFICIE (1985-2010)

Josep CALBÓ¹, Arturo SÁNCHEZ-LORENZO², Javier MARTÍN-VIDE³, Sergio M. VICENTE-SERRANO⁴, Martin WILD²

¹*Grupo de Física Ambiental, Universidad de Girona*

²*Institute for Atmospheric and Climate Science, ETH Zurich*

³*Grupo de Climatología, Universidad de Barcelona*

⁴*Instituto Pirenaico de Ecología, Consejo Superior de Investigaciones Científicas*

josep.calbo@udg.edu, arturo.sanchez@env.ethz.ch, jmartinvide@ub.edu, svicen@ipe.csic.es, martin.wild@env.eth.ch

RESUMEN

Existe un creciente interés sobre las causas de las tendencias de la evaporación observadas en diferentes regiones del planeta. En este trabajo se analizan las tendencias recientes de la evaporación potencial en España durante el periodo 1985-2010 a partir de registros mensuales homogeneizados de evaporímetros de tanque (21 series que inician sus observaciones en los 1980) y Piché (71 series, muchas de más de 60 años). Los resultados muestran una ausencia de cambios significativos de la evaporación en tanque durante el periodo 1985-2010. La ausencia de tendencias no se explica por la variación de la radiación, que aumentó en ese periodo, y probablemente debe estar influenciada por otras variables meteorológicas como la velocidad media del viento. Por otra parte, las tendencias derivadas de las series de evaporímetros Piché muestran una mejor relación con las variaciones de la radiación solar, lo que resulta llamativo ya que dicho instrumento está protegido de la radiación por la garita meteorológica. Probablemente, el efecto de la radiación es indirecto, al modificar las temperaturas y el déficit de presión de vapor ambiental.

Palabras clave: Evaporación Potencial, Evaporímetro Piché, Evaporímetro de Tanque, Radiación Solar.

ABSTRACT

There is growing interest on the causes of evaporation trends observed in different regions of the planet. This paper analyses recent trends in potential evaporation in Spain over the 1985-2010 period from monthly homogenised records both for pan evaporation measurements (21 series that start in the 1980s) and for Piché atmometers (71 series, most of them with more than 60 years of data). Despite of increasing solar radiation during the period 1985-2010, results show no significant trends in pan evaporation over the period 1985-2010. Therefore, the absence of trends must probably be related to other meteorological variables such as average wind speed. Moreover, the trends derived from Piché atmometers series show a better relationship with variations in solar radiation, which is striking because the instrument is protected from radiation by the weather shelter. Probably, the radiation effect is indirect, through a modification of the environment temperature and vapour pressure deficit.

Key words: Potential Evaporation, Piché Atmometer, Pan Evaporation, Solar Radiation.

1. INTRODUCCIÓN

En años recientes se ha descrito el fenómeno del “oscurecimiento global” (*global dimming*) como una disminución, generalizada en casi todo el planeta, de la radiación solar incidente en superficie, en particular durante el período que va entre las décadas de 1950 y 1980 (STANHILL y COHEN, 2001). Así mismo, se ha descrito una posterior recuperación de dicha variable (*brightening*), desde mediados de los años 1980 hasta el presente (WILD, 2005). Como es lógico, estos estudios se han basado sobre todo en el análisis de series de radiación solar, pero dada su escasez (tanto en distribución espacial como en extensión temporal) también se han utilizado datos indirectos, como son, en primer lugar, la insolación (STANHILL y COHEN, 2001; WILD, 2009), pero también otras variables que cabe esperar que estén relacionadas con la radiación solar, como son la oscilación térmica diaria, o la evaporación potencial (p. ej. WILD, 2009; 2012). Otra variable que está íntimamente relacionada con estos estudios es la nubosidad, dado su gran efecto sobre la radiación; por ello, es común encontrar trabajos que analizan el comportamiento de la radiación tratando de substraer el efecto de las variaciones de la nubosidad (NORRIS y WILD, 2007).

En efecto, la evaporación potencial, definida como la cantidad de agua que podría evaporarse, caso de que no estuviese limitada su disponibilidad, en un determinado lugar, y que se mide en mm/día (o mm/año, si es el caso) puede considerarse un “proxy” de la radiación, aunque igualmente depende de la temperatura y humedad relativa ambiental, así como también del viento. No obstante, si se considera que estos parámetros no varían, entonces la evaporación potencial sí puede indicar el comportamiento de la radiación solar (WILD, 2009). En cualquier caso, el estudio de la evaporación potencial, hasta ahora una variable escasamente analizada, puede aportar nuevo conocimiento sobre la variabilidad del clima y el cambio climático. Algunos trabajos relevantes que analizan el comportamiento de la evaporación potencial en relación a la variación de la radiación solar son los de PETERSON *et al.* (1995) y RODERICK *et al.* (2007).

En España, los estudios existentes sobre el fenómeno de “dimming/brightening” apenas se han limitado al análisis de las largas series de insolación (SÁNCHEZ-LORENZO *et al.*, 2007) incluyendo también el efecto de la nubosidad (SÁNCHEZ-LORENZO *et al.*, 2009). El objetivo de este trabajo es complementar los estudios previos, por medio del análisis de la evaporación potencial. Así, se construyen series mensuales de evaporación potencial en base a las observaciones facilitadas por AEMET, y realizadas tanto con evaporímetros Piché como mediante evaporímetros de tanque. Los resultados que se obtienen son discutidos en relación a los ya mencionados estudios previos de insolación y nubosidad, pero también en relación a las series de radiación solar global, de menor extensión temporal, que se han podido reconstruir en España (SÁNCHEZ-LORENZO *et al.*, 2012a). Igualmente, se discute el papel del viento, de forma similar a como se plantea su rol en McVICAR *et al.* (2012). Hasta donde los autores conocen, no hay trabajos similares publicados para España, a excepción del trabajo de ESPADAFOR *et al.* (2011) que se restringe a algunas estaciones del sur peninsular y que se refiere a evapotranspiración potencial estimada, y no medida como en el presente trabajo.

2. DATOS Y METOLOGÍA

Se han recopilado todas las series disponibles de evaporación potencial en la España peninsular, procedentes de los registros en formato digital, disponibles en la Agencia Estatal de Meteorología

(AEMet). Específicamente, se han considerado las series de observaciones realizadas a partir de evaporímetros de tanque clase A (E_t) y Piché (E_p) expresadas en mm/día, con al menos 25 años de medidas, y registros hasta el 2010. Para algunas estaciones se han generado series compuestas a partir de dos o más series derivadas de diferentes emplazamientos de los observatorios existentes en el lugar. La base de datos final ha quedado compuesta por 21 series de E_t , las cuales solo se inician en la década de los 1980, así como 71 series de E_p , las cuales están disponibles a partir de la década de los 70 y algunas incluso con anterioridad a mediados del siglo XX (Fig. 1).

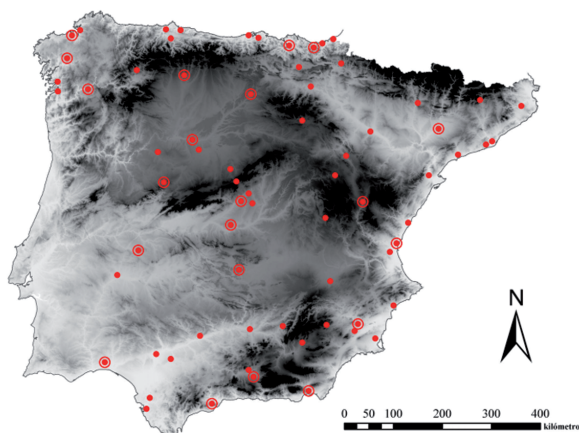


FIG. 1: Localización de las 71 estaciones con observaciones de evaporación Piché en la España peninsular, así como el subconjunto de 21 estaciones con disponibilidad de observaciones de evaporación en tanque (señaladas con círculos alrededor de los puntos).

A partir de esas series diarias se han calculado las medias mensuales de los valores diarios de E_t y E_p , a las cuales se les ha aplicado el *Standard Normal Homogeneity Test* (SNHT, ALEXANDERSSON y MOBERG, 1997) para evaluar su homogeneidad temporal mediante el programa AnClim (STEPÁNEK, 2008). La homogeneidad de cada una de las series originales se ha evaluado respecto a una serie de referencia, construida a partir de la media ponderada de las 5-10 series de anomalías mejor correlacionadas. Alrededor del 50% de las series de E_t y E_p han resultado completamente homogéneas, y en el resto se han detectado inhomogeneidades, que han tenido que ser ajustadas. Aunque algunas series presentan significativos saltos que han tenido que corregirse con elevados factores de corrección, no se ha observado una tendencia a presentar un sesgo hacia una dirección, lo que prácticamente no altera las tendencias observadas en la serie compuesta para el conjunto de la España peninsular. Finalmente, se han rellenado, a partir de regresiones lineales con la serie mejor correlacionada, los huecos existentes desde el inicio de cada una de las series hasta diciembre de 2010.

La base de datos de radiación solar en superficie (RSS) empleada en el presente estudio está descrita en detalle en SÁNCHEZ-LORENZO *et al.* (2012a). Resumiendo, la base de datos está compuesta por las 13 series más largas de RSS procedentes de la AEMet, que han sido homogeneizadas a resolución mensual a partir del SNHT, y disponibles desde 1985 hasta el 2010. Las series medias de la RSS presentan una elevada correlación a escala interanual y decadal ($r \geq 0.90$, $p < 0.01$) durante el periodo 1985-2010 con la serie media de insolación (SÁNCHEZ-LORENZO *et al.*, 2007; 2009) resultante de una rejilla homogéneamente distribuida por la Península Ibérica. En este

sentido, es destacable que un reducido número de series de RSS sobre la España peninsular pueden capturar la misma señal climática que una mayor densidad espacial de series, lo que es debido a la baja variabilidad, o elevada autocorrelación, espacial de la RSS.

Debido a la disponibilidad de datos para las tres variables mencionadas, los posteriores análisis se han limitado al periodo 1985-2010 para el cual todas las series y variables están disponibles. En concreto, para cada una de las variables E_t , E_p y RSS se han calculado las series de anomalías (respecto al periodo 1985-2010) anuales y estacionales para cada una de las series disponible en cada variable. Las estaciones se han definido como: invierno (DEF), primavera (MAM), verano (JJA) y otoño (SON). A continuación, se han promediado las series disponibles para el conjunto de la España peninsular para el periodo 1985-2010. A dichas series medias anuales y estacionales se les ha aplicado un filtro gaussiano de paso bajo de 13 términos. Igualmente, se han calculado las tendencias lineales (Tabla 1), y se ha evaluado su significación ($p \leq 0.05$) a partir del estadístico no paramétrico del coeficiente de correlación de Spearman (Rho) y Mann-Kendall, sólo considerando como significativa la tendencia si ambos estadísticos rechazan la hipótesis nula de ausencia de tendencia en la serie. Igualmente, para evaluar la relación lineal entre la RSS y la dos variables de evaporación, se han calculado los coeficientes de correlación de Pearson entre las series ($p \leq 0.05$). Dicha relación se ha estudiado a escala interanual y decadal a partir de la correlación de las series sin filtrar y las suavizadas con el filtro gaussiano de paso bajo, respectivamente (Tabla 2).

3. RESULTADOS

3.1. Evaporación potencial

La Fig. 2 muestra las series medias de la E_t en la España peninsular, junto al filtro de paso bajo, para el periodo 1985-2010 en base anual y estacional. La serie anual de E_t muestra un ligero descenso hasta finales de los 90, seguido por una ligera recuperación hasta la actualidad. Dicho comportamiento temporal es similar al observado en verano, primavera y, en menor medida, otoño, mientras que el invierno no muestras importantes variaciones decadales durante el periodo estudiado. Con todo, las tendencias lineales estimadas para el conjunto del periodo 1985-2010 no son significativas en ninguna de estas series, a excepción del verano (+0.20 mm/día por década).

	Anual	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
E_t (mm/día/10 a)	-	-	-	+0.20	-
E_p (mm/día/10 a)	+0.20	+	+0.16	+0.43	+0.18
RSS (Wm^{-2} /10 a)	+3.93	+1.71	+3.20	+6.51	+4.06

TABLA 1: Tendencias anuales y estacionales de la ET, EP y RSS en España. para valores no significativos sólo se presenta el signo de las tendencias. Las tendencias de ET y EP se expresan como mm/día por década, y las de RSS como Wm^{-2} por decada.

La Fig. 3 muestra lo mismo que la Fig. 2, pero referido a la E_p . La serie anual muestra un continuo aumento hasta mediados de los años 2000, con una estabilización o incluso ligero descenso durante el último lustro. La tendencia lineal muestra un aumento significativo de +0.20 mm/día por década. De las series estacionales, destaca un comportamiento similar al anual durante el verano y, en menor

medida, la primavera. Igualmente, la serie del otoño muestra un claro aumento durante el periodo estudiado, pero resalta que su serie comienza sin variaciones importante durante la primera década. Así, es a partir de mediados de los 90 cuando muestra un claro aumento hasta la actualidad, sin que evidencie signos de estabilización durante los últimos años. Al igual que la E_t , la serie del invierno no muestra variaciones decadales importantes durante el periodo analizado. En línea con las evoluciones temporales, sólo el invierno no presenta una tendencia significativa durante el periodo estudiado, mientras que en el verano se observan las mayores tasas de aumento (+0.43 mm/día por década), seguida del otoño (+0.18 mm/día por década) y primavera (+0.16 mm/día por década).

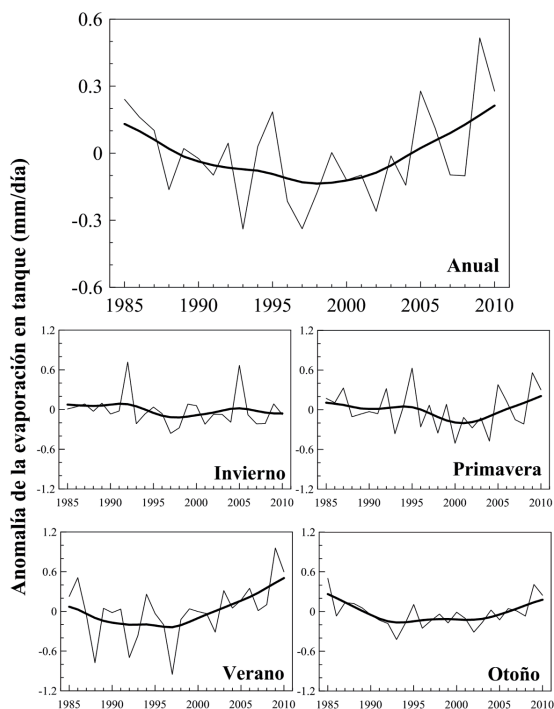


FIG. 2: Evolución de la serie media de la E_t durante el periodo 1985-2010. La línea fina indica el valor de la anomalía, y la gruesa el valor una vez aplicado el filtro de paso bajo.

Al igual que la RSS, como se ha comentado previamente en la Sección 2, las series de evaporación potencial presentan una elevada autocorrelación espacial en la España peninsular, lo que permite capturar prácticamente la misma señal climática con un número de estaciones considerablemente más reducido. Así, empleando las mismas 21 estaciones con registros de E_t , la serie media resultante para la E_p presenta una elevada correlación a escala interanual y decadal con la obtenida con el conjunto de las 71 series disponibles para E_p (Fig. 3). En concreto, la correlación varía entre un mínimo en invierno ($r = 0.86$) y un máximo en otoño ($r = 0.98$). En consecuencia, además de constatar la baja variabilidad espacial de los registros de la evaporación potencial, se constata que las tendencias de la E_t no se ven afectadas por el menor número de series disponibles para dicha variable. Por lo tanto, las diferencias observadas en la evolución temporal y tendencias de la E_t y E_p para el conjunto de la España peninsular son intrínsecas a esas variables observadas, y no el resultado de las diferencias en la densidad de estaciones.

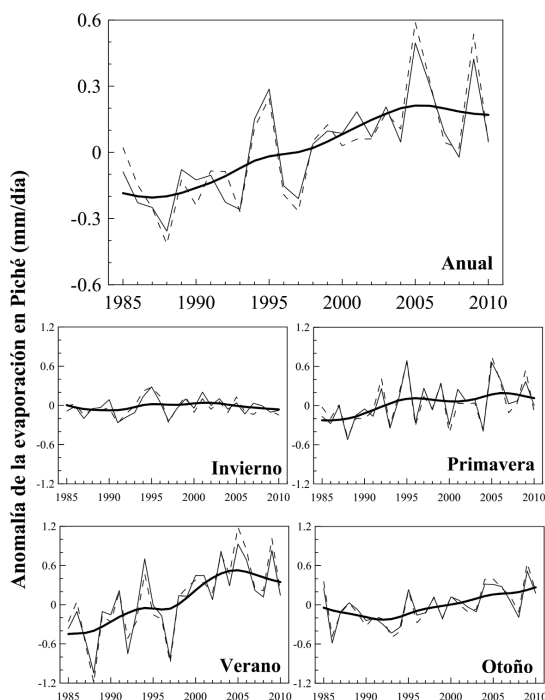


FIG. 3: Ídem que Fig. 1, pero de las series de E_p . La línea discontinua indica el promedio de las series de E_p obtenidas con las mismas 21 estaciones disponibles para la E_p .

3.2. Radiación solar en superficie

La Fig. 4 muestra las series medias (anual y estacionales) de la RSS en la España peninsular, junto al filtro de paso bajo, para el periodo 1985-2010. La serie anual empieza sin variaciones relevantes, o con un muy ligero aumento entre 1985 y el principio de la década de los 90, que va seguido de un fuerte aumento desde la segunda mitad de los 90 hasta la actualidad. La tendencia lineal estimada para el periodo 1985-2010 resulta ser de $+3.93 \text{ Wm}^{-2}$ por década, es decir, alrededor de 10 Wm^{-2} sobre el conjunto de 25 años. La evolución temporal y significación en la tendencia concuerda bien con los resultados obtenidos del análisis de series temporales de insolación (SÁNCHEZ-LORENZO *et al.*, 2007; 2009).

A resolución estacional, las series de RSS en primavera y verano son las más similares a la serie anual, tal como era de esperar debido a la mayor contribución del periodo cálido del año a las medias anuales, aspecto que es igualmente aplicable a las series de evaporación descritas anteriormente. Sin embargo, también se observan algunas diferencias en dichas series estacionales, como por ejemplo la ausencia en primavera del fuerte aumento en la RSS observado en la serie anual durante la segunda parte de la década del 2000. Igualmente, el verano muestra la mayor elevada variabilidad, así como la anomalía negativa mas destacada (alrededor de los -23 Wm^{-2}) en 1992. Este pronunciado mínimo, justo durante el mínimo estival que registra la nubosidad en España (CALBÓ y SÁNCHEZ-LORENZO, 2009; SÁNCHEZ-LORENZO *et al.*, 2009), también se observa en los registros de insolación (SÁNCHEZ-LORENZO *et al.*, 2007; 2009) y probablemente esté vinculado a los efectos directos de los aerosoles emitidos por la erupción volcánica del Pinatubo (Junio 1991). Por otro lado, en otoño se observa la misma variabilidad decadal que en la serie anual desde mediados de los 90,

pero con un ligero descenso entre 1985 y principios de los 90, así como un mínimo notable entre 1992 y 1994. Finalmente, la serie del invierno muestra un aumento continuo desde finales de los 80 hasta la actualidad, pero finalizando con un claro descenso, que marca el mínimo absoluto en toda la serie, en el 2010. Dicho mínimo está en consonancia con la precipitación máxima registrada ese año como respuesta de la fase negativa más extrema de la *North Atlantic Oscillation* (NAO) registrada durante el periodo instrumental (VICENTE-SERRANO *et al.*, 2011). Respecto a las tendencias lineales, todas las series estacionales muestran un aumento significativo de la RSS durante el periodo 1985-2010, con una mayor tasa de aumento en el verano ($+6.51 \text{ Wm}^{-2}$ por década), seguido del otoño, ($+4.06 \text{ Wm}^{-2}$ por década), primavera ($+3.20 \text{ Wm}^{-2}$ por década), y el invierno ($+1.71 \text{ Wm}^{-2}$ por década).

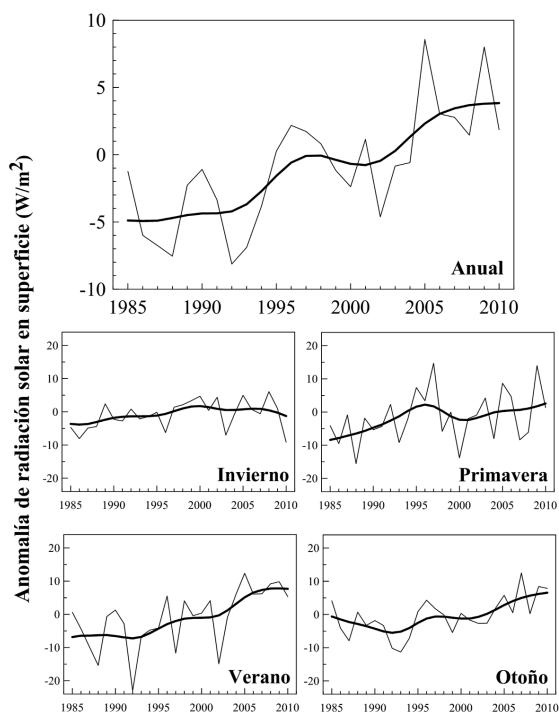


FIG. 4: Evolución de la serie media la RSS durante el periodo 1985-2010. La línea fina indica el valor de la anomalía, y la gruesa el valor una vez aplicado el filtro de paso bajo.

3.3. Discusión. Relación de la evaporación con la radiación solar

Los resultados anteriores muestran una ausencia de aumento significativo, en la serie media anual, de la evaporación potencial medida en los tanques evaporímetros de clase A. Estos resultados contrastan con el descenso generalizado observado en la mayor parte de los estudios realizados durante los últimos años (McVICAR *et al.*, 2012). Por el contrario, las tendencias observadas con los atmómetros de Piché muestran un aumento significativo de la evaporación potencial en España. Dicho aumento está en línea con el aumento generalizado observado en la radiación solar en superficie desde mediados de los 80, fenómeno que ha sido denominado *brightening* (WILD, 2009). Este periodo de *brightening* se había observado anteriormente sobre la Península Ibérica con series de insolación (SÁNCHEZ-LORENZO *et al.*, 2007), y se produce en paralelo a una posible disminución de la nubosidad total (CALBÓ y SÁNCHEZ-LORENZO, 2009; SÁNCHEZ-LORENZO

et al., 2012b), así como un posible descenso de la carga de aerosoles en la atmósfera (SÁNCHEZ-LORENZO *et al.*, 2009). En cualquier caso, las diferencias entre las dos observaciones reflejan que los instrumentos utilizados no miden exactamente lo mismo: los atmómetros Piché miden la evaporación causada por el poder desecante de la atmósfera, mientras que los tanques también incluyen la evaporación provocada por la energía de la propia superficie que evapora.

Las correlaciones entre las series de RSS y evaporación potencial (Tabla 2) refuerzan lo comentado anteriormente, pues se observa una mayor relación entre la RSS y la E_p , especialmente en cuanto a su variabilidad a escala decadal. Así, para la E_p las correlaciones de las series sin filtrar presentan unos valores que varían entre +0.69 y +0.75, y sólo durante el invierno no se alcanza la significación estadística. Dichas correlaciones aumentan considerablemente cuando se emplean las series filtradas, con valores de +0.94 en la serie anual y entre +0.57 (invierno) a +0.96 (otoño) en las series estacionales. Para la E_t las correlaciones son considerablemente mas bajas, aunque es de resaltar el mejor ajuste obtenido durante el verano, con valores próximos a los obtenidos con E_p . Este aspecto, y la existencia de tendencias significativas para ambas variables en la serie estival, refuerzan la idea de aumento en la evaporación potencial en España desde mediados de los 80. De hecho, es en verano cuando los valores medios de evaporación son más elevados y cuando las observaciones, especialmente las de E_t , son menos sensibles a otros factores externos (p. ej. formación de hielo en el tanque, posible sesgo producido por la lluvia, etc.).

	Anual	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Tanque (E_t)	+0.39 (+)	+ (-0.71)	+0.65 (-)	+0.68 (+0.83)	+0.53 (+0.47)
Piché (E_p)	+0.75 (0.94)	+ (+0.57)	+0.77 (+0.94)	+0.69 (+0.88)	+0.69 (+0.96)

TABLA 2: *Coefficientes de correlación anuales y estacionales entre la RSS y las dos variables de evaporación (ET y EP). en paréntesis se indican los resultados obtenidos usando las series suavizadas con el filto de paso bajo. para valores no significativos sólo se presenta el signo de las correlaciones.*

A priori resulta llamativo que sean las series de evaporación medidas con evaporímetros Piché las que muestren una mayor relación la radiación solar incidente, pues dicho instrumento está protegido de la radiación por la garita meteorológica. Es probable que el efecto de la radiación pueda ser indirecto, vía modificación del déficit de presión de vapor ambiental derivado del aumento de la presión de vapor saturante que resulta de los aumentos de temperatura. En concreto, es posible proponer la hipótesis de que desde mediados de los 80 se habrá producido un aumento del déficit de presión de vapor (es decir, un descenso de la humedad relativa), favorecido por el aumento de las temperaturas, que podría relacionarse parcialmente con el aumento de radiación solar (puesto que cabría esperar menor nubosidad, por la disminución de la humedad relativa). Igualmente, la ausencia de aumento de la E_t a resolución anual puede estar influenciada por otras variables como la velocidad media del viento, que se ha demostrado ser la principal variable a la hora de explicar las tendencias observadas con los evaporímetros de tanque (McVICAR *et al.*, 2012).

Con todo, la similitud mostrada entre las medidas de evaporación con Piché y las de radiación solar durante el periodo 1985-2010 abre un campo para futuras investigaciones. De hecho, STANHILL (1962) ya fue el primero en apuntar el interés de las observaciones realizadas con Piché a la hora de estimar la evaporación potencial, las cuales sólo requerían aplicar sencillos factores para

corregir el impacto de la garita meteorológica en la velocidad del viento. Aunque posteriormente han existido algunos intentos puntuales de estimar la evapotranspiración potencial a partir de medidas de Piché (p.ej. PAPAIOANNOU *et al.*, 1998), no ha existido mucho interés en explotar estas series temporales de evaporación. Este aspecto contrasta con el uso de las series de evaporación en tanque, que se refleja en los 55 estudios revisados en McVIVAR *et al.* (2012), por ninguno analizando las tendencias de las observaciones con Piché. Este último aspecto resulta sorprendente debido a la escasez de series de evaporación en tanque disponibles en la mayor parte de los países, así como la escasa disponibilidad temporal de dichas observaciones, pues la mayor parte de los estudios arrancan con observaciones a partir de mediados del siglo XX (ver Tabla 5 en McVICAR *et al.*, 2012). En cambio, las observaciones realizadas a partir del evaporímetro Piché han sido habituales en la mayor parte de los observatorios de primer orden, especialmente en Europa. Igualmente, debido a que su invención por Albert Piché data de 1872, en la actualidad existen muchos observatorios meteorológicos donde los registros rondan o incluso superan 100 años. Lo comentado anteriormente se evidencia claramente en España, donde sólo han podido recuperarse 21 series de evaporación en tanque con registros desde la década de los 80. En cambio, en la actualidad existen más de 70 estaciones con observaciones de Piché digitalizadas desde mediados del siglo XX. Igualmente, se tiene constancia de que unas 40 estaciones disponen de registros desde finales del siglo XIX, aunque permanecen en la actualidad sin digitalizar.

4. CONCLUSIONES

Las tendencias de la evaporación potencial, medidas con evaporímetro Piché, y las de radiación solar en superficie apuntan a un aumento significativo de dichas variables en España durante el periodo 1985-2010. Dicho aumento es de fundamental relevancia en el contexto actual de cambio climático, y podría tener importantes repercusiones en otros procesos relacionados con el ciclo hidrológico, la producción agrícola, o los ecosistemas. En cambio, las series de evaporación en tanque no muestran una clara evidencia de aumento durante las últimas décadas, y es posible que otras variables meteorológicas, como la velocidad del viento, expliquen las diferencias existentes entre las tendencias observadas con las series de Piché y tanque.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por el Ministerio Economía y Competitividad, a través de los proyectos NUCLISOL (CGL2010-18546) e HIDROCAES (CGL2011-27574-C02-02). El segundo autor está financiado por una beca postdoctoral Beatriu de Pinós de la Generalitat de Catalunya (2009 BP-A 00035). Igualmente, el trabajo se encuadra en los objetivos del Grup de Física Ambiental (2009 SGR 213). Los datos han sido proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMet).

REFERENCIAS

- Alexandersson, H. y Moberg, A. (1997). "Homogenization of Swedish temperature data. Part I: homogeneity test for linear trends". *Int. J. Climatol.*, 13, 191-201.
- Calbó, J. y Sánchez-Lorenzo, A. (2009). "Cloudiness climatology in the Iberian Peninsula from three global gridded datasets (ISCCP, CRU TS 2.1, ERA-40)". *Theor. Appl. Climatol.*, 96, 105-115
- Espadafor, M., Lorite, I.J., Gavilán, P. y Berengena, J. (2011). "An analysis of the tendency of reference evapotranspiration estimates and other climate variables during the last 45 years in Southern Spain." *Agr. Water Manage.*, 98 (6), 1045-1061.

- McVicar, T.M. et al. (2012). "Global review and synthesis of trends in observed terrestrial near-surface wind speeds: Implications for evaporation." *J. Hydrol.*, 416–417, 182–205.
- Norris, J.R. y Wild, M. (2007). "Trends in aerosol radiative effects over Europe inferred from observed cloud cover, solar "dimming" and solar "brightening"". *J. Geophys. Res.*, 112, D08214, doi: 10.1029/2006JD00794.
- Papaoiannou, G.; Kaloudis, S. y Kerkides, P. (1998). "On the proper employment of Piche evaporimeters in estimating evapotranspiration". *Int. J. Climatol.*, 18, 1247-1260.
- Peterson, T.C.; Golubev, V.S. y Groisman, P.Y. (1995). "Evaporation losing its strength". *Nature*, 377 (6551), 687–688.
- Roderick, M.L.; Rotstain, L.D.; Farquhar, G.D. y Hobbins, M.T. (2007). "On the attribution of changing pan evaporation". *Geophys. Res. Lett.*, 34, L17403, doi: 10.1029/2007GL031166.
- Sánchez-Lorenzo, A.; Brunetti, M.; Calbó, J. y Martín-Vide J. (2007). "Recent spatial and temporal variability and trends of sunshine duration over the Iberian Peninsula from a homogenized dataset". *J. Geophys. Res.*, 112, doi:10.1029/2007JD008677.
- Sánchez-Lorenzo, A.; Calbó, J.; Brunetti, M. and Deser, C. (2009). "Dimming/brightening over the Iberian Peninsula: Trends in sunshine duration and cloud cover, and their relations with atmospheric circulation". *J. Geophys. Res.*, 114, doi:10.1029/2008JD011394.
- Sánchez-Lorenzo, A.; Calbó, J. y Wild, M. (2012a). "Global and diffuse solar radiation in Spain: building a dataset and searching for trends." *Atmos. Environ.*, enviado.
- Sánchez-Lorenzo, A.; Calbó, J. y Wild, M. (2012b). "Increasing cloud cover in the 20th century: review and new findings in Spain". *Clim. Past Discuss.*, 8, 1133-1167.
- Stanhill, G. (1962). "The use of the Piche evaporimeter in the calculation of evaporation". *Q. J. R. Met. Soc.*, 88, 80-82.
- Stanhill, G. y Cohen, S. (2001). "Global dimming: A review of the evidence for a widespread and significant reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences". *Agric. For. Meteorol.*, 107, 255-278.
- Stepánek, P. (2008). *AnClim - software for time series analysis*. Dept. of Geography, Fac. of Sciences, Masaryk University, Br no, 1.6 MB. <http://www.climahom.eu/>
- Vicente-Serrano, S.M. et al. (2011). "Extreme winter precipitation in the Iberian Peninsula in 2010: anomalies, driving mechanisms and future projections". *Clim. Res.*, 46, 51-65.
- Wild, M. (2009). "Global dimming and brightening: A review". *J. Geophys. Res.*, 114, D00D16, doi:10.1029/2008JD011470.
- Wild, M. (2012). "Enlightening global dimming and brightening". *B. Am. Meteorol. Soc.*, 93, 27-37.
- Wild, M. et al. (2005). "From dimming to brightening: Decadal changes in solar radiation at Earth's surface". *Science*, 308, 847-850.